

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zařízení pro monitorování vybíjecí křivky
akumulátorů s možností výstupu pro PC

Device for Battery Discharge Monitoring with
interface for PC

2014

Marián Ruský

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Marián Ruský**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika
Téma: Zařízení pro monitorování vybíjecí křivky akumulátorů s možností výstupu pro PC
Device for Battery Discharge Monitoring with Interface for PC

Zásady pro vypracování:

1. Popište základní vlastnosti různých typů akumulátorů s ohledem na monitorování nabíjecích a vybíjecích procesů.
2. Navrhněte a realizujte zařízení pro monitorování vybíjecích křivek akumulátorů.
3. Proveďte ověření funkčnosti zařízení pro stanovené typy akumulátorů a změřte jejich vybíjecí křivky.

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**


Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 28.4.2014



.....
Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce **Ing. Petr Palacký, Ph.D.** za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat zařízení, které vybije připojený akumulátor konstantním proudem, změří jeho vybíjecí křivku a tu pak ve formě tabulky přenesení do PC, kde se např. pomocí programu Microsoft Excel naměřená data zobrazí jako graf. Práce je zaměřena především na popis funkce navrženého zařízení.

Klíčová slova

Vybíjecí křivka akumulátoru, komunikace s PC, vybíjení konstantním proudem

Abstract

Target of this bachelor thesis is to design and to construct device, which discharges a battery by constant current, measures its discharging curve and transfer it to PC as a table. The acquired data will be displayed as a graph e.g. by Microsoft Excel. The thesis is focused mainly on describing the function of the designed device.

Key words

Discharging curve of accumulator, communication with PC, constant current discharging

Seznam použitých symbolů a zkratek

C – kapacita akumulátoru v ampérhodinách (Ah).

C20 – kapacita akumulátoru při vybíjení proudem $C/20$ po dobu 20 hodin.

2C – proud akumulátoru odpovídající dvojnásobku kapacity C v ampérech.

I – proud měřený v ampérech (A).

U – napětí měřené ve voltech (V).

B – 8 bitové slovo označované jako byte.

R – elektrický odpor v ohmech (Ω)

R_{th} – tepelný odpor ve stupních kelvin/watt ($^{\circ}\text{K}/\text{W}$)

I/O – vstupně výstupní brána mikroprocesoru

A/D – analogově digitální převodník

sw - software

Obsah

1 Úvod.....	2
2 Akumulátory a jejich vlastnosti z hlediska nabíjení a vybíjení.....	3
2.1 Pb akumulátor	3
2.2 Ni-Cd akumulátor.....	3
2.3 NiMH akumulátor	4
2.4 Li-Ion akumulátor	4
3 Popis zařízení pro monitorování vybíjecí křivky akumulátorů	5
3.1 Popis hardware	5
3.1.1 Napájení	6
3.1.2 Mikroprocesor	7
3.1.3 Měřicí a řídicí členy regulace proudu.....	9
3.1.4 Měření napětí.....	11
3.1.5 Uživatelské rozhraní.....	12
3.1.6 Návrh DPS.....	12
3.1.7 Chlazení.....	13
3.2 Popis firmware	15
3.2.1 USB komunikace.....	17
3.2.2 Měření napětí a práce s EEPROM	18
3.2.3 Regulace proudu.....	19
3.2.4. SPI komunikace.....	20
3.3 Software	21
3.3.1 Uživatelské rozhraní.....	21
3.3.2. USB komunikace.....	22
3.3.3 Uložení dat do textového souboru.....	23
4 Zkušební měření akumulátoru.....	24
5 Závěr	24

1 Úvod

Každý akumulátor je charakterizován určitými parametry, jako jsou, napětí článku, odpor článku a kapacita. Kapacita akumulátoru se nejčastěji udává jako kapacita C20. To znamená, že tato hodnota platí pro vybíjení akumulátoru proudem odpovídajícím jedné dvacetině kapacity akumulátoru po dobu dvaceti hodin. Pro její spolehlivé měření a dosažení stejného výsledku, jako na štítku akumulátoru je tedy nutné splnit podmínky vybíjecího proudu C20.

Každý akumulátor je ovšem omezen určitým počtem nabíjecích cyklů. Toto omezení se v praxi projevuje právě snižováním kapacity akumulátoru a to až k hodnotě, kdy je akumulátor prakticky nepoužitelný. Aby bylo možné odhadnout, v jakém stádiu životnosti se daný akumulátor nachází, měří se jeho vybíjecí křivka, což je závislost napětí akumulátoru na čase při vybíjení konstantním proudem. Podle polohy tzv. kolena charakteristiky (oblast, kdy napětí akumulátoru začne prudce klesat) můžeme pak určit, zda kapacita akumulátoru stále odpovídá hodnotě uvedené na štítku, popř. o kolik je nižší.

Zařízení, které autor práce k tomuto účelu navrhl a v této práci popisuje má tedy za úkol regulovat proud na zadanou hodnotu a po určitých časových úsecích sbírat vzorky napětí, které pak ukládá do paměti. Po ukončení měření jsou pak data přenesena do PC a uložena jako textový dokument. Takto připravená data lze již snadno zobrazit jako vlastní křivku, např. pomocí programu Microsoft Excel.

2 Akumulátory a jejich vlastnosti z hlediska nabíjení a vybíjení

Existuje mnoho druhů akumulátorů lišících se jak konstrukčním provedením tak hlavně použitými chemickými prvky. Právě tím, které chemické prvky jsou v akumulátoru použity, jsou určeny vlastnosti akumulátoru. To pak ovlivňuje způsob, jakým musí být s akumulátorem zacházeno a v jakých aplikacích je, který typ akumulátoru vhodné použít. Například Pb akumulátor, používaný především v automobilové technice se vyznačuje vysokou odolností a schopností bezpečně dodat vysoký proud potřebný k nastartování motoru vozidla. Naproti tomu je ale těžký a má nízkou objemovou hustotu energie v porovnání třeba s Li-ion akumulátorem, který ovšem není zase schopen dodávat tak vysoké proudy bez rizika zničení.

V této kapitole budou rozebrány nejčastěji používané typy akumulátorů a jejich vlastnosti, týkající se především jejich chování při vybíjení.

2.1 Pb akumulátor

Patří mezi nejstarší a nejrozšířenější akumulátory hlavně díky své nenahraditelnosti v automobilové technice. Nejčastěji je tedy možné setkat se s Pb akumulátory ve formě startovacích akumulátorů. Startovací akumulátory nejsou určeny k hlubokému vybití. Opakované hluboké vybití má za následek snížení kapacity akumulátoru. Při vybíjení tohoto akumulátoru, je tedy vhodné vybíjení ukončit právě na začátku kolena vybíjecí křivky.

Jmenovité napětí jednoho článku je 2 V, v automobilových akumulátorech je ale těchto článků zapojených do série 6, takže jmenovité napětí akumulátoru je 12 V. Kapacity těchto akumulátorů se běžně pohybují mezi 60 – 100 Ah. Životnost těchto akumulátorů je asi 500-800 nabíjecích cyklů. Pro nabíjení se používá U, I i W charakteristik.

Protože startovací Pb akumulátory jsou z běžně dostupných akumulátorů schopné dodat nejvyšší energii, je na ně i dimenzováno zařízení pro monitorování vybíjecí křivky. Kvůli vysokým kapacitám je vysoký i proud C20, což v součinu s napětím akumulátoru vytvoří na vybíjecích prvcích zařízení nejvyšší výkonové ztráty ze všech běžných akumulátorů.

2.2 Ni-Cd akumulátor

Stejně jako Pb akumulátory patří k jedněm z nejstarších a nejrozšířenějších typů akumulátorů. Nejrozšířenější jsou v podobě AA akumulátorů používaných v komerční elektronice, nebo jako více článkové akumulátory v ručním nářadí. Vyznačují se rovněž schopností dodávat vysoké proudy.

Jmenovité napětí jednoho článku je 1,2 V. Kapacity těchto akumulátorů se běžně pohybují mezi 800 – 3000 mAh a jejich životnost je až 2000 nabíjecích cyklů. Pro nabíjení se obvykle používá IU charakteristika. NiCd akumulátory také mají možnost tzv. rychlonabíjení, kdy je možné akumulátor nabíjet proudem až 2C, což je dvojnásobek hodinové kapacity akumulátoru.

NiCd akumulátory jsou odolné vůči hlubokému vybití a kvůli paměťovému efektu jej dokonce i vyžadují. Pokud není NiCd akumulátor před nabitím úplně vybit, dochází v něm ke snížení kapacity.

2.3 NiMH akumulátor

Svémi vlastnostmi jsou velmi podobné Ni-Cd akumulátorům. Jsou novější a postrádají tzv. paměťový efekt. To znamená, že je možné tyto akumulátory nabíjet bez nutnosti předcházejícího úplného vybití. Nejčastěji jsou používány ve formě AA článků pro komerční elektroniku, nebo jako více článkové akumulátory pro pozemní RC modely a hračky.

Napětí jednoho článku je 1,2 V. Kapacity těchto akumulátorů se pohybují mezi 800 – 5000 mAh, kde horní hranice je využívána především ve zmíněné RC technice. Životnost těchto akumulátorů se obvykle pohybuje okolo 1000 nabíjecích cyklů a rovněž mají možnost rychlonabíjení.

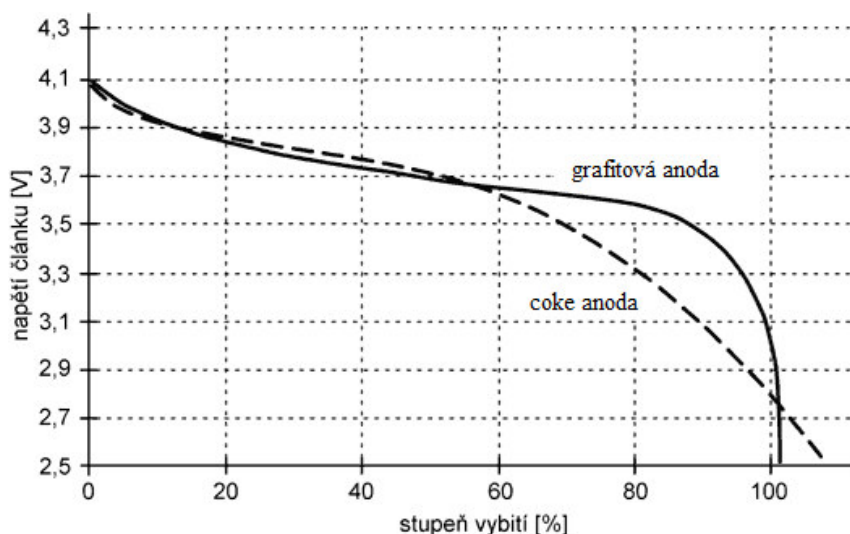
Vybíjecí křivky NiMH akumulátorů nemají tak ostré koleno jako křivky Ni-Cd nebo Pb akumulátorů, to znamená, že NiMH akumulátor dokáže při stejné kapacitě pracovat déle, protože jeho napětí klesá s menší strmostí.

2.4 Li-Ion akumulátor

Jedná se o poměrně nový a velmi rozšířený druh akumulátoru. Používá se téměř ve všech přenosných zařízeních. Dosahuje vysokých kapacit při malých rozměrech a hmotnosti. Nevýhodou je ale nutnost ochranné elektroniky, protože při překročení maximálního proudu nebo přebití článku okamžitě exploduje nebo začne hořet.

Napětí jednoho článku je 3,7 V. Kapacity těchto akumulátorů se pohybují mezi 1200-10000 mAh a jejich životnost je asi 1200 nabíjecích cyklů. Nabíjecí proud je až 2C. Pro nabíjení se používá výhradně U charakteristika a to s nutností velmi přesně dodržet napětí, již při malém překročení nabíjecího napětí hrozí zničení akumulátoru.

Vybíjecí křivka těchto akumulátorů se značně liší podle materiálu použitého pro anodu, jak je možné vidět na obrázku 1. Coke je speciální forma uhlíku podobná grafitu. Li-Ion akumulátory netrpí paměťovým efektem, za to jsou velmi citlivé na hluboké vybití. Proto je při jejich vybíjení dbát na odpojení vybíjecího zařízení při zaznamenání kolena vybíjecí křivky.



Obrázek 1 - Vybíjecí křivky Li-Ion akumulátorů s různými materiály anod [1]

3 Popis zařízení pro monitorování vybíjecí křivky akumulátorů

Jak již bylo zmíněno v úvodu, úkolem navrhovaného zařízení je sběr vzorků napětí s určitým časovým rozestupem a následné odeslání naměřených dat do PC, kde budou zobrazena jako graf. Celý systém je tedy možné rozdělit na několik částí:

1. Hardware – konstrukční část zařízení.
2. Firmware – program mikroprocesoru, zajišťující regulaci vybíjecího proudu, měření napětí, komunikaci s PC a uživatelem.
3. Software – obslužný program v PC zajišťující komunikaci se zařízením, uživatelské rozhraní pro nastavení parametrů měření a interpretaci naměřených dat do textového dokumentu.

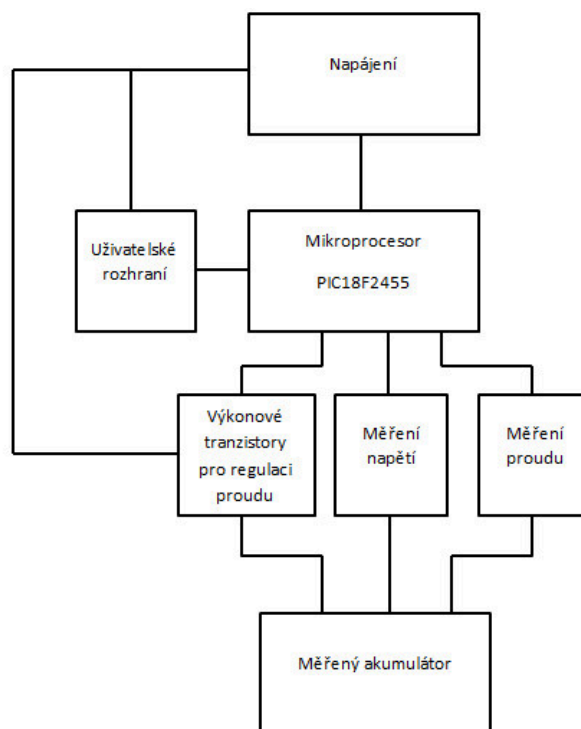
Zařízení komunikuje s PC pomocí sběrnice USB (Universal Serial Bus). Z hlediska složitosti by se sice jevila jako vhodnější možnost, použít sběrnici RS232, ale ta se do dnešních PC už neimplementuje. Naproti tomu USB sběrnice je v současnosti nejrozšířenější sběrnici používané ke komunikaci PC s ostatními zařízeními, což umožňuje připojení zařízení k téměř každému PC a tím zvyšuje jeho univerzálnost. Při programování USB komunikace mezi PC a zařízením autor čerpal z [2].

3.1 Popis hardware

Z blokového schématu na obrázku 2 je zřejmé, že srdcem celého zařízení je mikroprocesor PIC18F2455 firmy Microchip. Mikroprocesoru jsou v podstatě až na napájení všechny ostatní bloky zařízení podřízeny. Zařízení se dále skládá z proudového obvodu, který je tvořen bloky měření proudu a jeho regulace výkonovými tranzistory, a napěťového obvodu, který je tvořen blokem měření napětí akumulátoru.

Zařízení využívá spojitou regulaci proudu. To znamená, že tranzistory jsou používány v aktivním režimu – tedy s nejvyššími ztrátami. Na první pohled se toto řešení může zdát nesmyslné, protože s sebou přináší nutnost výkonného chlazení, ale má své opodstatnění. Kdyby bylo pro regulaci proudu použito PWM (pulzní šířkové modulace), mohly by na takovýto nespojitý vybíjecí proud akumulátory neočekávaně reagovat. Protože cílem zařízení je měřit vybíjecí křivku za účelem určení kapacity akumulátoru, je nutné, aby byl vybíjecí proud spojitý.

Úplné elektrické schéma je k nahlédnutí v příloze I a označení součástek v dalších kapitolách z něj bude vycházet.



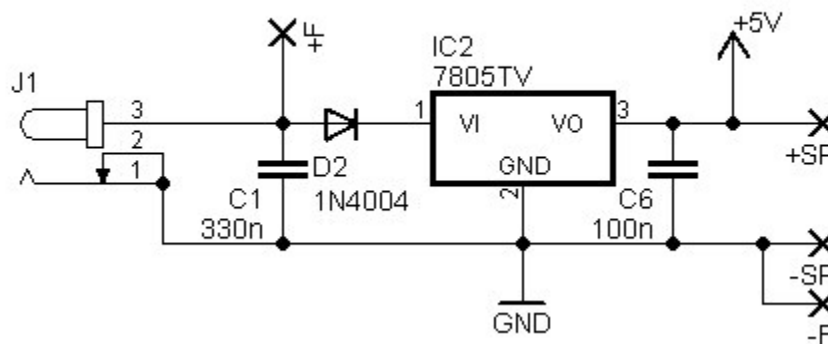
Obrázek 2 - blokové schéma zařízení

3.1.1 Napájení

Zařízení může být napájeno dvěma způsoby. Prvním způsobem je napájení, které je nutné při samotném měření akumulátoru. To je realizováno stejnosměrným zdrojem napájecího napětí 12 V, které je dodáváno do ventilátoru chladiče a následně stabilizováno na hodnotu 5 V stabilizátorem napětí 7805 (IC2). Stabilizátor je dle doporučení výrobce [3] doplněn o kondenzátory C1 a C6. Ty mají za úkol zabránit náhlým poklesům napětí.

Druhým způsobem napájení je sběrnice USB, která zařízení dodává energii v době, kdy je připojeno k PC. Dle specifikace USB je za normálních okolností maximální přípustný proud dodávaný sběrnici 100 mA, což pro práci zařízení bohatě stačí. Při tomto stavu ovšem nemůže být napájen ventilátor. Jedná se tedy o napájení určené pouze pro práci zařízení při přenosu dat. Aby bylo ve firmware možné rozeznat, kdy je zařízení napájeno z USB a kdy ne, je kladný napájecí vodič z USB konektoru přiveden na I/O pin RC6 a dále pak připojen ke zbytku napájecí sítě přes Schottkyho diodu D1. Úbytek napětí na této diodě činí 0,4 V. K procesoru se tedy dostane pouhých 4,6 V, což je ale pro jeho správnou funkci dostačující. Pokud je zařízení napájeno standardně ze stabilizátoru IC2, dioda je uzavřená a pin RC6 je uzemněn přes rezistor R6.

Při ožiování zařízení bylo překvapením, že ventilátor se roztočil po připojení USB konektoru. Očividně stabilizátor 7805 vede proud oběma směry, s čímž nebylo počítáno. Jako řešení této situace by se dalo využít další diody dle schématu na obrázku 3, která je zde označena jako D2. Sice by na ní vznikl úbytek napětí, ale ten by nehrál roli, neboť napětí je následně sníženo z 12 V na 5. Bohužel na tento problém se přišlo až po výrobě a osazení desky plošných spojů, takže tato úprava již nebyla možná. Nicméně tento nedostatek naštěstí nezpůsobuje při USB komunikaci žádné potíže.



Obrázek 3 - možnost blokování toku proudu z USB do ventilátoru

3.1.2 Mikroprocesor

Řídícím obvodem celého zařízení je mikroprocesor PIC18F2455, který disponuje 10x multiplexovaným 10 bitovým A/D převodníkem, třemi 16 bitovými časovači, integrovaným USB modulem, 256 B EEPROM, 2 kB programové paměti a dvěma vektory přerušení s nízkou a vysokou prioritou. Mikroprocesor má samozřejmě i další periferie, které ale nebyly pro funkci zařízení využity a proto zde nejsou ani uvedeny.

Pro správnou funkci zařízení je třeba znát vnitřní rozvod hodinového signálu, funkci I/O portů, A/D převodníku a čítače/časovače TMR0. Na obrázku 4 je k vidění vnitřní rozvod hodinového signálu v mikroprocesoru. Obrázek byl převzat z [4].

Na obrázku můžeme vidět, že hodinový signál z primárního oscilátoru je veden do před děličky kmitočtu PLLDIV pro PLL. V konfiguračních bitech mikroprocesoru je třeba pak nastavit před děličku tak, aby na výstupu před děličky byla frekvence 4 MHz. Následně je tento signál veden do samotné PLL, kde je jeho frekvence zvýšena na 96 MHz. Pro USB modul je pak frekvence signálu dělena dvěma v děličce kmitočtu USBDIV, takže USB modul je taktován signálem o kmitočtu 48 MHz. Signál o frekvenci 96 MHz rovněž vstupuje do nastavitelné děličky kmitočtu CPUDIV, kde je možno jej dělit 2 – 6. Pro tuto aplikaci bylo zvoleno dělení dvěma, aby mikroprocesor běžel na stejné frekvenci jako modul. Výsledná frekvence 48 MHz pak taktuje i ostatní periferie mikroprocesoru. Mikroprocesor nabízí více variant taktování, v našem případě je ale využita výše popsaná varianta.

3.1.3 Měřicí a řídicí členy regulace proudu

Aby mohl program v mikroprocesoru regulovat proud na hodnotu nastavenou uživatelem, je zapotřebí tento proud měřit a mít způsob jak jej měnit – akční člen.

Měření protékajícího proudu je poměrně snadnou záležitostí, v nejjednodušším případě k tomuto účelu postačí sériově zapojený rezistor s malou hodnotou odporu a A/D převodník procesoru.

V náročnějších aplikacích je pak možnost využít k měření proudu např. Hallovy sondy. Vzhledem k účelu tohoto zařízení, je ale sériově zapojený rezistor dostačujícím řešením. Rezistor je ve schématu označen jako R7. Ten je jedním koncem spojen se zemí a druhým koncem pak s tranzistorem T1 a T2. Z druhého konce je rovněž odebíráno napětí pro A/D převodník, na pin procesoru RA0.

Při volbě hodnoty sériového odporu je nutno brát v potaz několik skutečností. Jednak je to maximální proud, který bude zařízením protékat, a také je nutné znát, jakou výkonovou ztrátu tento proud na rezistoru způsobí. Maximální proud, kterým může zařízení akumulátory vybíjet je 6 A. Odpor rezistoru byl zvolen na 0,1 Ω. Při tomto proudu vznikne dle vztahu (1) na rezistoru výkonová ztráta 3,6 W. Vzhledem k tomu, že A/D převodník dokáže měřit napětí do 5 V, je třeba ověřit, zda procházející proud na rezistoru nevytvoří úbytek napětí vyšší než je 5 V. Dle vztahu 2, je tato podmínka splněna.

Jako sériový rezistor pro měření proudu byl vybrán drátový výkonový rezistor a hodnotě 0,1 Ω s povolenou výkonovou ztrátou 5 W. Přesnost A/D převodníku je 0,0048 V. V rozmezí 0 – 6 A je tedy dle vztahu (3) 123 hodnot.

$$P = U * I = I * R * I = I^2 * R = 6^2 * 0,1 = 3,6 \text{ W}$$

(1)

$$U = I * R = 6 * 0,1 = 0,6 \text{ V}$$

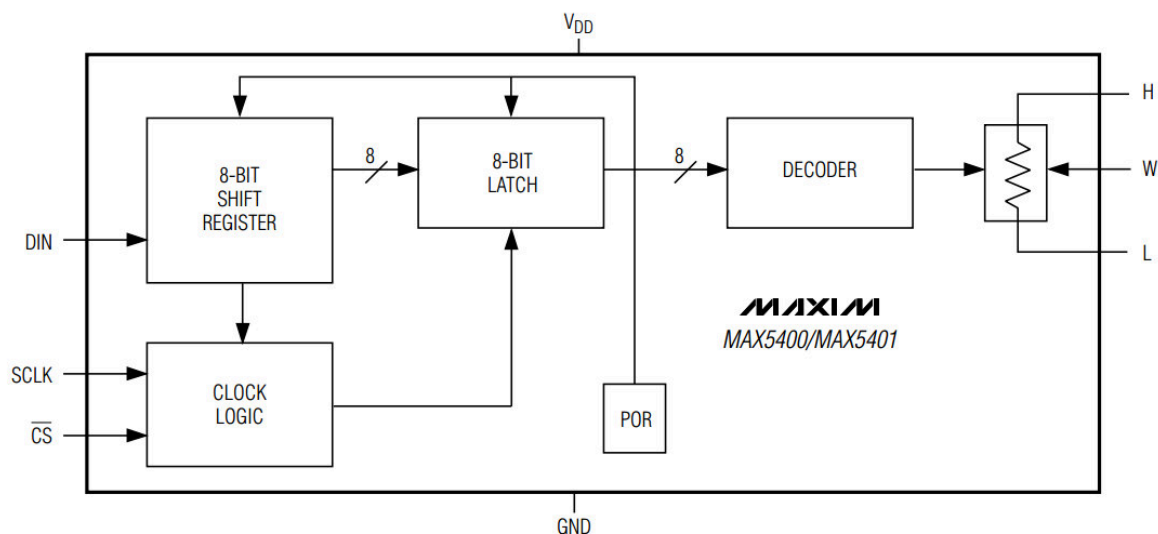
(2)

$$\frac{\text{max. napětí na sériovém odporu}}{\frac{\text{max. napětí měřené A/D převodníkem}}{2^{\text{počet bitů A/D převodníku}}}} = \frac{0,6}{\frac{5}{2^{10}}} \cong 123$$

(3)

Řízení protékajícího proudu je v zapojení realizováno paralelně zapojenou dvojicí unipolárních tranzistorů T1 a T2 jejichž řídicí elektrody jsou připojeny k výstupu obvodu MAX5400 [5]. Jedná se vlastně o digitální potenciometr, jehož blokové schéma je uvedeno na obrázku 6, další detaily pak v příloze 2. Piny L a H odpovídají koncům odporové dráhy mechanického potenciometru. Pin W pak odpovídá jezdcí potenciometru. Odporové pole obvodu má celkový odpor 50 kΩ a obvod je schopen volit až 256 hodnot mezi koncem a začátkem pole. Obvod komunikuje s mikroprocesorem pomocí SPI sběrnice. Po přijetí bytu se zadanou hodnotou v rozmezí 0 – 255 je připojen výstup W k odpovídající části odporového pole, a protože piny L a H jsou zapojeny mezi +5 V a GND, výstupem je měnící se napětí v tomto rozsahu, které pak otevírá tranzistory T1 a T2, čímž je řízena hodnota protékajícího proudu.

Z uvedeného tedy vyplývá, že přesnost regulace proudu je omezena hlavně snímacím odporem, který dovoluje rozlišení maximálně 123 hodnot v daném proudovém rozsahu, ovšem není tomu tak. Tranzistory T1 a T2 totiž začínají pracovat až od hodnoty $U_{GS} = 2,5 \text{ V}$, to znamená, že i rozsah digitálního potenciometru je omezen na 128 použitelných hodnot.



Obrázek 6 - vnitřní blokové schéma obvodu MAX5400 [5]

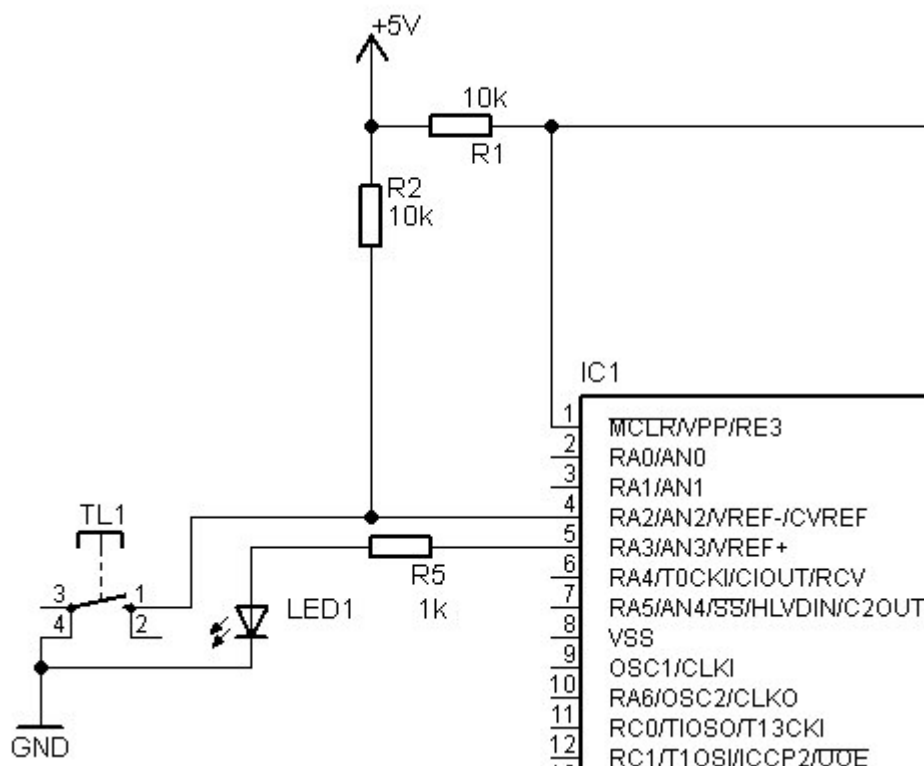
Celou situaci navíc komplikuje skutečnost, že při regulaci proudu se tranzistory pohybují na začátku své charakteristiky, který je velmi strmý. I přes tyto komplikace se ale podařilo dosáhnout relativně přesné regulace.

3.1.4 Měření napětí

Měření napětí provádí A/D převodník mikroprocesoru, stejně jako v případě měření proudu. Mezi kladný a nulový potenciál měřeného akumulátoru je zapojen dělič napětí, který tvoří rezistory R3 a R4, jejichž hodnoty byly zvoleny tak, aby bylo napětí přiváděné na vstup A/D převodníku RA1 vyděleno třemi. To zajišťuje, že zařízení je schopno měřit napětí 0 – 15 V, i přesto, že samotný A/D převodník mikroprocesoru je schopen měřit napětí pouze v rozsahu 0 – 5 V. Podle [4] by odpor rezistoru R3 neměl přesáhnout hodnotu 2 kΩ právě kvůli tomu, aby se stihl nabít kondenzátor v A/D převodníku. Tato podmínka je splněna. Zároveň je nutné, aby byl celkový odpor děliče dost vysoký na to, aby příliš neovlivňoval proud, kterým je akumulátor vybíjen. Vzhledem k tomu, že zařízení je navrhováno na proudy v jednotkách ampérů, je hodnota proudu procházejícího děličem napětí o celkovém odporu 3 kΩ zanedbatelná.

3.1.5 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní tohoto zařízení tvoří tlačítko TL1, které spouští měření připojeného akumulátoru a luminiscenční dioda LED1, která svícením indikuje, že zařízení je v provozu. Jakmile je vybíjení ukončeno, LED1 zhasne. Tyto dva prvky jsou připojeny k portu A mikroprocesoru způsobem naznačeným na obrázku 7. Z obrázku si můžeme všimnout pro mikroprocesorovou techniku netypického zapojení a totiž, že LED1 je zapojena proti zemi. V mikroprocesoru jsou totiž všechny porty schopny vést proud oběma směry. Odpor rezistoru $R1=1\text{ k}\Omega$ je pro indikační diody s odběrem 5 mA typický, stejně jako $R2=10\text{ k}\Omega$, který je zde využit ve funkci pull-up rezistoru. To znamená, že pokud není stisknuto tlačítko rezistor R1 drží na vstupu mikroprocesoru log. 1. Při stisku tlačítka, které má nulový odpor, pak dojde ke změně na log. 0.



Obrázek 7 - připojení LED a tlačítka k mikroprocesoru

3.1.6 Návrh DPS

Pro návrh DPS byl použit program Eagle. DPS je k vidění v příloze 3. Za zmínku stojí cesta, která vede napětí z měřicího rezistoru R7, k pinu RA0 mikroprocesoru. Tato cesta musela být z DPS po oživení zařízení odstraněna a nahrazena drátem, protože při provozu zařízení bylo na konci cesty u pinu mikroprocesoru o 0,1 V vyšší napětí, než na jejím začátku. Důvodem byla pravděpodobně kapacita mezi touto a vedlejší cestou, protože vzhledem k tomu, že protékající proud je stejnosměrný, indukce není možná. V dalším návrhu DPS by bylo vhodným řešením vést mezi těmito dvěma souběžnými cestami uzemněnou cestu.

Šířka cest proudového obvodu byla vypočtena pomocí on-line kalkulatoru [7], pro jistotu pak byly tyto cesty ještě pocínovány po celé své délce.

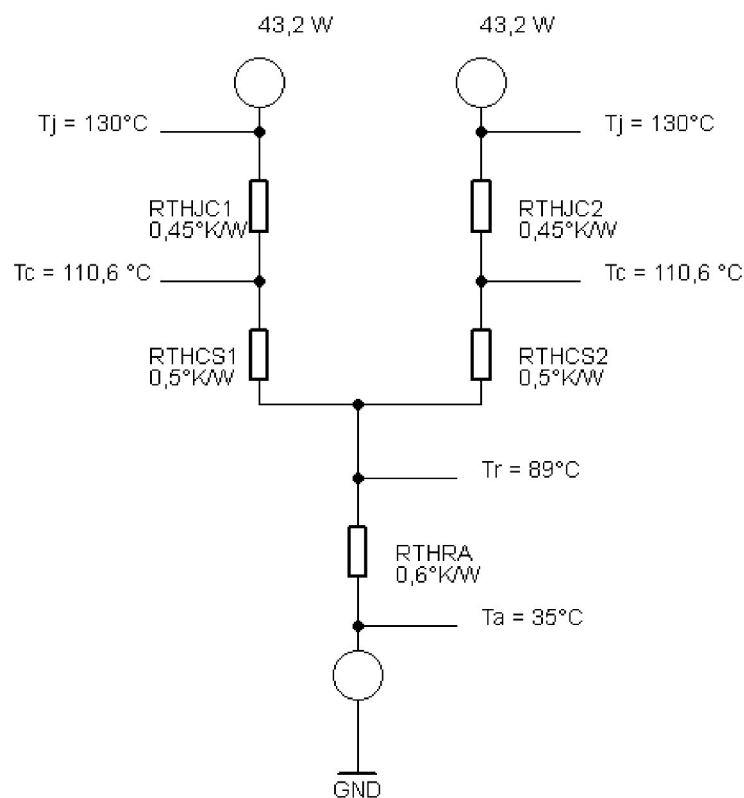
3.1.7 Chlazení

Protože přes tranzistory T1 a T2 protéká poměrně vysoký proud a zároveň na nich vzniká úbytek napětí téměř shodný s napětím vybíjeného akumulátoru, je na nich i vysoká výkonová ztráta. Při plně nabitém startovacím Pb akumulátoru, který bude mít napětí 14,4 V a maximálním vybíjecím proudem, který je 6 A bude podle vztahu (4) výkonová ztráta na tranzistorech činit 86,4 W. Tento výkon je potřeba odvést do okolí vhodným chlazením.

Kvůli nejlepším parametrům tepelného odporu byly použity tranzistory IRF1405, jejichž parametry jsou uvedeny v [6]. I přesto však musely být tyto tranzistory použity dva, aby se rozdělila jejich výkonová ztráta a tím se snížily teplotní spády na jejich tepelných odporech mezi přechodem, pouzdrem a chladičem rovněž na polovinu. Podle výpočtu (5) byl jako chladič vybrán profilovaný hliník s tepelným odporem $R_{thRA} = 1,2 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$. Při použití ventilátoru s průtokem vzduchu $3,82 \text{ ms}^{-1}$ pak byla hodnota R_{thRA} dále ponížena cca na třetinu. Pro určení parametrů ventilátoru byl použit obrázek 9, který zobrazuje závislost snížení R_{thRA} na rychlosti proudícího vzduchu v ms^{-1} . Korekčním faktorem se pak přenásobí hodnota tepelného odporu chladiče bez ventilátoru. Schéma tepelného obvodu je k vidění na obrázku 8.

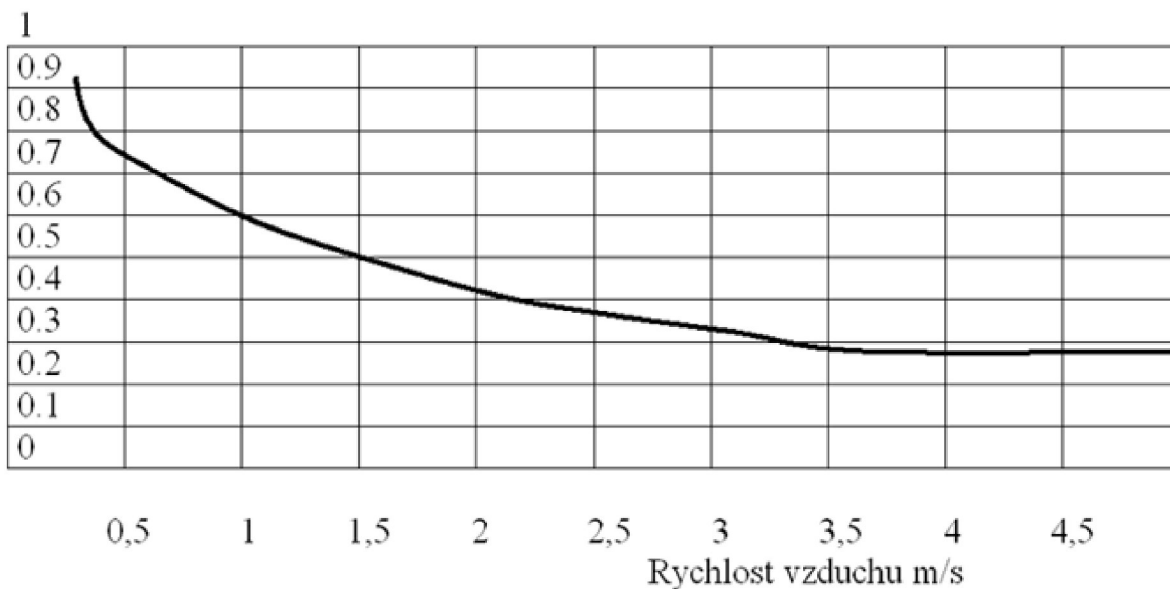
Při použití ventilátoru vznikla určitá rezerva a ztrátový výkon by mohl být ještě navýšen, nicméně jeho maximální hodnota zůstala omezena podle výpočtu (4), kvůli tomu, že ventilátor svou plochou nepřekrývá všechna žebra chladiče a tím pádem je skutečný korekční faktor tepelného odporu chladiče o něco vyšší.

$$P_{tot} = U * I = 14,4 * 6 = 86,4 \text{ W} \quad (4)$$



Obrázek 8 - schéma tepelného obvodu

Korekční faktor



Obrázek 9 - křivka korekčního faktoru tepelného odporu chladiče v závislosti na rychlosti proudění vzduchu [8]

$$R_{thRA} = \frac{T_j - T_a}{P_{tot}} - \frac{R_{thJC}}{2} - \frac{R_{thCS}}{2} = \frac{130 - 35}{86,4} - \frac{0,45}{2} - \frac{0,5}{2} = 0,62 \text{ } ^\circ K/W$$

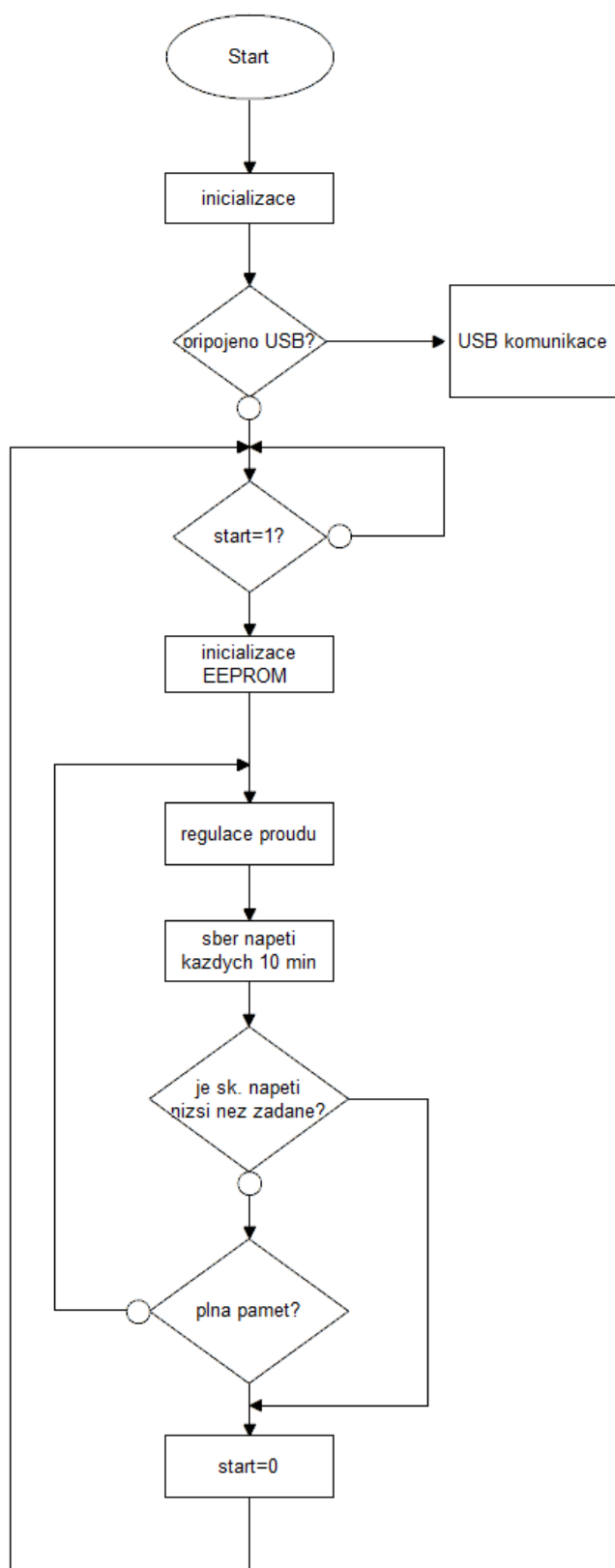
(5)

3.2 Popis firmware

Firmware mikroprocesoru je napsán v jazyce C a pro jeho kompilaci bylo použito vývojové studio MPLAB IDE, které výrobce použitého procesoru dává volně ke stažení na svých stránkách. Protože se jedná o dlouhý program, budou zde rozebrány jen jeho nejzajímavější a nejsložitější části. Celý program včetně komentářů je k nalezení na CD v adresáři /firmware. Vývojový diagram programu je k vidění na obrázku 10.

Po inicializaci, kdy mikroprocesor nastaví všechny I/O a zkopíruje obsah EEPROM do RAM, je ověřeno, zda byla připojena USB sběrnice. Důvod kopie paměti EEPROM do RAM je, že EEPROM není dostatečně rychlá a při požadavku na odeslání naměřených dat do PC, dojde k chybě přenosu právě proto, že obsah paměti se nestihne tak rychle přehrát do USB bufferu.

V případě, že je připojena USB sběrnice pak program skočí do obsluhy komunikace, která je rozebrána níže. V případě, že není detekována sběrnice, následuje čekání na stisk tlačítka, což znamená započetí měření. Po stisku tlačítka jsou vymazána data přechozího měření z EEPROM a program pak vstupuje do smyčky měření, kde probíhá regulace proudu, měření napětí a vyhodnocení, kdy ukončit měření. Pro automatické ukončení měření musí být splněna jedna ze dvou podmínek. Buďto klesne napětí akumulátoru pod stanovenou mez, nebo dojde k přeplnění paměti. Po dokončení měření jsou uzavřeny vybíjecí tranzistory a naměřená data jsou z RAM zkopírována do EEPROM. Po dokončení měření je možné zařízení zapojit do USB bez nutnosti jeho vypnutí, protože právě naměřená data se nacházejí v RAM, odkud se do EEPROM kopírují právě až při dokončení měření



Obrázek 10 - vývojový diagram firmware

3.2.1 USB komunikace

Sběrnice USB nabízí mnoho možností, jak mohou zařízení s PC komunikovat. Jako nejjednodušší a pro účel tohoto zařízení dostačující možnost, se nabízí HID (Human Interface Device) komunikace. Tímto druhem komunikace, jak naznačuje její název, komunikují s PC převážně periferie jako klávesnice nebo myš. Jedná se o přesně definovaný standard komunikace, takže není třeba instalovat žádné další ovladače ke konkrétnímu zařízení. Data jsou přenášena po 64B packetech, po každém paketu je nutné, aby jej procesor zpracoval dříve, než bude vstupní buffer USB modulu přepsán novým paketem. V našem případě je tento problém vyřešen tím, že obslužný software v PC před odesláním nového paketu čeká na odpověď mikroprocesoru. K naprogramování USB komunikace čerpáno z [2].

O úspěšnou identifikaci zařízení a započetí komunikace se stará samotná knihovna v mikroprocesoru. Po připojení zařízení k PC si tedy PC a mikroprocesor vymění data, kterými se mikroprocesor ohlásí a určí se typ komunikace. Po dokončení tohoto procesu, který je díky tomu, že jej za programátora provádí předem napsaná knihovna, automatický, je zařízení spárováno s PC a čeká na příchozí příkaz. Pro lepší pochopení bude dále způsob komunikace vysvětlen na části zdrojového kódu.

```
1.switch (ReceivedDataBuffer[0])
2.{
3.case 0x40:
4.for (y=0;y<64;y++)
5.{
6.ToSendDataBuffer[y] = data1LSB[y];
7.}
8.if (!HIDTxHandleBusy(USBInHandle))
9.{
10.USBInHandle = HIDTxPacket(HID_EP, (BYTE*)&ToSendDataBuffer[0], 64);
11.}
12.break;
```

Na prvním řádku je přečten první byte z 64, které dorazí do mikroprocesoru. Tento byte slouží, jako identifikátor o jaký druh dat se jedná a program v mikroprocesoru podle toho pak skočí na dané místo v obsluze USB. Předpokládejme tedy, že byl přijat byte 0x40. Pomocí příkazu switch program tedy skočí na obsluhu tohoto příkazu na třetí řádku. Na čtvrtém řádku pak proběhne zkopírování dat z RAM do USB bufferu, a na osmém řádku je následně proveden test, zda právě neprobíhá jiná komunikace, pokud ne příkaz na desátém řádku odešle data po USB do PC. V tuto chvíli již v PC obslužný software zpracovává přijatá data. O vše ostatní se stará knihovna, kterou výrobce Microchip nabízí volně ke stažení.

Obdobně tento program funguje i pro příjem dat, kde se místo zápisu do odesílacího bufferu kopíruje buffer s přijatými daty.

HID komunikace může z pohledu mikroprocesoru probíhat dvěma způsoby. Prvním je způsob, kdy mikroprocesor periodicky kontroluje USB modul, zda byla přijata data a případně na ně odpovídá – tzv. pooling. Druhým způsobem je, že příjem dat vyvolává přerušení, v jehož obsluze pak probíhá stejná rutina jako ta, která je naznačená výše. V programu vybíječe akumulátoru je využito první možnosti, protože procesor má díky tomu, že při komunikaci s USB nic jiného nedělá, spoustu nevyužitého výpočetního výkonu.

3.2.2 Měření napětí a práce s EEPROM

Jak bylo už zmíněno dříve napětí je měřeno A/D převodníkem, který je integrován v mikroprocesoru. Pro jeho naprogramování bylo čerpáno z [4] a [10]. Vzhledem k tomu, že data musí být dostupná i po odpojení zařízení od napájení, jsou tato data ukládána do interní EEPROM, což je energeticky nezávislá paměť, ta má ale kapacitu pouhých 256 B. Každý vzorek naměřeného napětí je reprezentován 2B hodnotou, což znamená, že pokud má být zařízení schopno měřit napětí akumulátoru po dobu 20 hodin (vybití dvacetinovým proudem), musí být vzorky napětí ukládány každých 10 minut. Data z dvacetihodinového měření tedy zabere celkem 240 B paměti. Další 4 B jsou pak v EEPROM využity pro nastavení vybíjecího proudu a minimálního napětí akumulátoru, při kterém dojde k předčasnému ukončení měření. V paměti tím pádem už nezbyvá další místo pro ukládání časů měření, z tohoto důvodu jsou časy generovány až v PC při zápisu do textového souboru, což je možné díky tomu, že je známo, že mikroprocesor ukládá napětí právě každých deset minut.

Jako nejvhodnější způsob časování sběru vzorků se jeví použití 16 bitového čítače/časovače TMR0, který je vybaven před děličkou kmitočtu s maximálním poměrem 1:256. Hodnota, kterou je třeba načíst do TMR0, aby generoval přerušení s frekvencí 1 Hz, by se pak počítala dle vztahu (6). V obsluze přerušení je pak už jednoduše inkrementován pomocný registr a na základě hodnoty v tomto registru je pak rozhodnuto, zda uběhlo 10 minut. Z uvedeného je zřejmé, že hodnota pomocného registru bude po deseti minutách 600.

$$preload = 65535 - \frac{f_{osc}}{4} * \frac{1}{256} = 65535 - 12 * 10^6 * \frac{1}{256} = 18660$$

(6)

Čítač/časovač TMR0 je pak spuštěn v 16 bitovém režimu s před děličkou 1:256 a je do něj načtena výchozí hodnota dle [11] následujícími příkazy.

```
OpenTimer0( TIMER_INT_ON & T0_16BIT & T0_SOURCE_INT & T0_PS_1_256 );
TMR0H = 0x48;
TMR0L = 0xE4;
```

Pro započítí měření je tedy nejprve nutné inicializovat A/D převodník – tato inicializace probíhá v programu v rámci rutiny `sber_napeti` následujícím příkazem.

```
OpenADC(ADC_FOSC_64&ADC_RIGHT_JUST&ADC_20_TAD, ADC_CH1&ADC_INT_OFF&ADC_VREFPLUS_VDD&ADC_VREFMINUS_VSS, 0b1101);
```

Takto je v programu A/D převodník nastaven a připraven ke spuštění měření. Rychlost převodu je nastavena na nejpomalejší možnou, aby docházelo k co nejmenší chybě, dále je třeba nastavit formát výstupních dat. Ten je nastaven standardně tak aby MSB byl vlevo a LSB vpravo. A/D převodník měří napětí na kanálu 1, což odpovídá I/O pinu RA1 a po dokončení převodu negeneruje přerušení. Jako referenční napětí je použito napájecí napětí mikroprocesoru. Posledním nastavovaným údajem je binární číslo, které nastaví příslušné I/O piny jako analogové vstupy. Všechna nastavení jsou podrobněji popsána v [10].

Příkaz `ConvertADC` pak spustí samotný převod a po jeho dokončení jsou data z převodníku přečtena příkazem `ReadADC`. Tato data jsou následně rozdělena na 2 Byty a uložena na odpovídající místo v paměti RAM. Protože je nutné, aby bylo možné porovnat změřené napětí s minimálním napětím

ukončujícím měření, které zadal uživatel, je nutné hodnotu z A/D převodníku přepočítat na skutečnou hodnotu napětí. K tomu je využito vztahu (7). Výsledné napětí je vynásobeno třemi, protože napěťový dělič skutečné napětí dělí třemi. Vzhledem k nepřesnostem součástek musí být ještě zahrnuta korekční konstanta, která byla zjištěna porovnáním údaje z mikroprocesoru a údaje z voltmetru.

$$U = ADCdata * \frac{\text{max. měřitelné napětí}}{2^{\text{počet bitů}_{\frac{A}{D}} \text{převodníku}}} * \text{korekce} = ADCdata * \frac{5}{1024} * 3 * 1,019$$

(7)

Po ukončení měření jsou naměřená data z RAM uložena do EEPROM. Aby tento proces mohl proběhnout, je třeba zavolat rutinu WriteEEPROM, ve které je třeba povolit zápis do paměti EEPROM. Toho je dosaženo nastavením bitu WREN, který se nachází v registru EECON1, dále je třeba, aby byly vynulovány bity EEPGD a CFGS. Při splnění těchto podmínek je nahrána adresa Bytu, do kterého bude prováděn zápis dat a následně i zapisovaná data do odpovídajících registrů. Při zápisu do EEPROM nesmí dojít k přerušení, k tomu účelu se vynuluje bit GIE v registru INTCON. Protože EEPROM je chráněna proti nechtěným přepisům při nedefinovaných stavech mikroprocesoru (např. při kolísajícím napájecí napětí), je třeba do registru EECON 2 zapsat speciální sekvenci, která potvrzuje, že se jedná o chtěný zápis. Po úspěšném zadání sekvence se nastavením bitu WR v registru EECON1 provede zápis, následně jsou opět povolena přerušení a zakázán zápis do EEPROM.

Čtení EEPROM probíhá obdobně jako zápis, ale už pochopitelně není chráněn, protože při nechtěném čtení nelze nijak poškodit data. Do registru EEADR program nahraje adresu čteného Bytu v paměťovém prostoru a nastavením bitu RD v registru EECON1, data ze zadané adresy jsou následně přítomna v registru EEDATA, s jehož obsahem se rutina ReadEEPROM vrací zpět do místa jejího volání.

3.2.3 Regulace proudu

Pro regulaci proudu je využito jednoduchého algoritmu, jehož úkolem je porovnání hodnoty skutečného proudu s hodnotou zadaného proudu. Podle toho, zda je hodnota menší nebo větší je pak inkrementována nebo dekrementována hodnota dat posílaných po SPI digitálnímu potenciometru, což má za následek otvírání nebo přivírání tranzistorů v proudovém obvodu. Měření skutečného proudu a jeho regulace probíhá při každém opakovaném průběhu programu hlavní smyčkou, protože takto rychlá regulace ničemu nevádí a její zpomalování by mělo smysl pouze tehdy, kdy by procesor musel zpracovávat i jiné informace. Aby procesor znal hodnotu skutečného proudu a mohl ji tak porovnat s hodnotou zadanou uživatelem, je třeba výstup A/D převodníku přepočítat dle vztahu (8) na skutečný proud v mA.

Během testování zařízení byla zjištěna chyba regulace proudu, která se měnila se vzrůstající hodnotou nastaveného proudu. Z tohoto důvodu musela být do programu zavedena korekční proměnná, jejíž hodnota je odstupňována tak, aby co nejlépe eliminovala chybu na všech rozsazích. Korekční proměnná byla zjištěna porovnáním proudu měřeného ampérmetrem a nastaveného proudu. Chyba tímto byla snížena na ± 50 mA z původní chyby, která byla až ± 500 mA. Bohužel nebylo možné zjistit, co chybu způsobuje, proto byla zavedena korekční proměnná. Její odstupňování je k vidění v tabulce 1.

$$I = ADCdata * \frac{\text{max. měřitelné napětí}}{2^{\text{počet bitů}} \cdot \frac{A}{D} \text{ převodníku}} * \frac{1}{R7} * 1000 * \text{korekce} = ADCdata * \frac{10^4 * 5}{1024} * \text{korekce}$$

(8)

Proudový rozsah [mA]	Korekční konstanta [-]
0-500	2,27
500-1000	1,51
1000-1500	1,16
1500-2500	1
2500-4000	0,95
4000-6000	0,92

Tabulka 1 - korekční proměnná

3.2.4. SPI komunikace

Ke komunikaci mikroprocesoru s digitálním potenciometrem MAX5400 je využito SPI (Serial Peripheral Interface). Jedná se o synchronní datovou sběrnici využívající Master-Slave komunikaci. Sběrnici tvoří v typickém případě čtyři vodiče, z nichž MOSI a MISO jsou datové – pro každý směr datového toku jeden, třetí vodič s označením SCLK pak slouží k přenosu taktovacího signálu a poslední vodič označen SS slouží k výběru zařízení, se kterým bude komunikace probíhat. V případě komunikace mikroprocesoru s obvodem MAX5400 je situace poněkud jednodušší, protože komunikace probíhá pouze jedním směrem. Mikroprocesor pouze zasílá obvodu 1B hodnotu, na kterou obvod okamžitě reaguje nastavením výstupního odporu. Ke komunikaci jsou tedy využity tři vodiče a to MOSI, SCLK a SS. Při komunikaci nejprve dojde k zápisu log. 0 na SS, následně se přenesou data začínající nejvýznamnějším bitem, a to tak, že pro každý bit zapsaný na MOSI proběhne jeden takt SCLK.

V mikroprocesoru je SPI modul integrován a tím pádem není třeba programově tuto komunikaci nijak ošetřovat, přenos dat se provede pomocí následující rutiny.

```

1. OpenSPI (SPI_FOSC_64, MODE_10, SMPEND);
2. CS=0;
3. WriteSPI (SPI_data);
4. CS=1;
5. CloseSPI ();

```

Na prvním řádku probíhá inicializace SPI modulu, kde je třeba nastavit rychlost komunikace odvozená od frekvence oscilátoru mikroprocesoru a mód přenosu. Poslední příkaz nastavení souvisí pouze s obousměrnou komunikací. Mód přenosu 10 byl nastaven podle [5]. Po inicializaci SPI modulu následuje nulování SS vodiče, následně je příkazem na třetím řádku proveden samotný přenos, po ukončení přenosu se nastavuje SS vodič opět na log. 1 a SPI modul je následně vypnut .

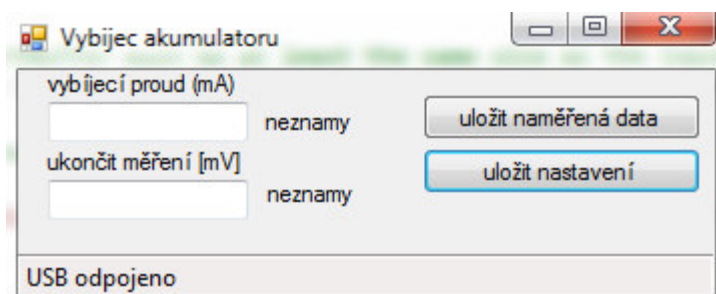
3.3 Software

Pro psaní software na PC bylo použito vývojové prostředí Visual C# 2010, které je volně ke stažení na stránkách společnosti microsoft. Při psaní softwaru bylo čerpáno z [2] a [9]. Program a zdrojový kód včetně komentářů jsou uloženy na cd v adresáři /software.

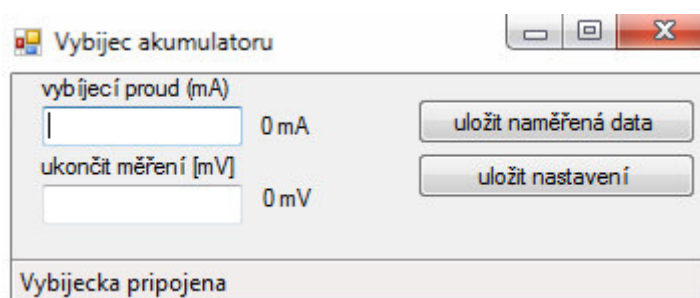
Software na straně PC umožňuje nastavení parametrů měření a uložení naměřených dat do textového souboru. Poskytuje výhodu v tom, že zařízení k nastavení parametrů nemusí mít žádný panel ani display, což zlevňuje jeho výrobu. Protože návrh sw není cílem této práce, bude zde jen stručně popsána jeho funkce, především z důvodu vysvětlení USB komunikace se zařízením ze strany PC.

3.3.1 Uživatelské rozhraní

Na obrázku 11 je možno vidět uživatelské rozhraní programu, když zařízení není připojeno k PC. Rozhraní je velmi jednoduché a umožňuje v podstatě dvě funkce. Nastavit parametry měření a uložit naměřená data. Na obrázku 12 je pak k vidění, jak uživatelské rozhraní vypadá, když je zařízení připojeno.



Obrázek 11 - rozhraní při odpojeném zařízení



Obrázek 12 - uživatelské rozhraní při připojeném zařízení

Studio Visual C# 2010 umožňuje tvořit rozhraní velmi pohodlně, pomocí metody "drag and drop". Programátor tedy do studií připravené tabulky může vložit prvky jako tlačítka, textová pole, ukazatele průběhu atd. bez nutnosti napsat jediný řádek v programu. Po vložení daného prvku program vygeneruje jeho kód a programátor pak používá názvy popřípadě proměnné daných prvků přímo v programu, kde definuje, co který prvek bude dělat. Níže je uveden příklad obsluhy tlačítka.

```

1.private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
2.{
3.int zadany_proud = int.Parse(0+vybijeciproud.Text);
4.if (zadany_proud < 6001)
5.{
6.USB_Vybijecka.proud_send(zadany_proud);
7.}
8.int zadane_napeti = int.Parse(0+konecnenapeti.Text);
9.USB_Vybijecka.napeti_send(zadane_napeti);
10.}

```

Na prvním řádku je kód generovaný programem, následuje pak kód psaný programátorem. V tomto případě příkaz na třetím řádku kopíruje do proměnné `zadany_proud` obsah textového pole `vybijeciproud`. Příkaz na řádku 6 pak volá rutinu `proud_send` s parametrem `zadany_proud`. Stejný postup se opakuje i pro zadané napětí. Rutiny `proud_send` a `napeti_send` pak obstarávají samotné zaslání dat do mikroprocesoru a jejich funkce bude vysvětlena v následující kapitole.

3.3.2. USB komunikace

Vlastní komunikaci pomocí standardu HID opět obstarávají knihovny, úkolem programátora tedy je pouze správně přistoupit k těmto knihovnám a zadat do odesílacího bufferu data, která budou odeslána, popřípadě je číst z přijímacího bufferu. Jediným rozdílem mezi obsluhou komunikace v mikroprocesoru a obsluhou v PC je to, že první Byte odesílacího bufferu musí být vždy naplněn hodnotou 0. V mikroprocesoru se o toto stará samotný USB modul, zatímco v PC musí být tento Byte poslán programem. Jedná se o synchronizační Byte, za kterým pak následují užitečná data. V mikroprocesoru tedy bude první přijatý Byte obsahovat to, co v PC druhý odeslaný Byte. Totéž platí pro přijímací buffer – tedy první byte bude vždy 0 a nejedná se o užitečná data.

Ukázka odeslání zadaného proudu do zařízení je uvedena níže.

```

1.public bool proud_send(int zadany_proud)
2.{
3.Byte[] outputBuffer = new Byte[65];
4.outputBuffer[0] = 0;
5.outputBuffer[1] = 0x05;
6.byte[] proudbyty = BitConverter.GetBytes(zadany_proud);
7.Array.Copy(proudbyty, 0, outputBuffer, 2, 2);
8.bool success;
9.success = writeRawReportToDevice(outputBuffer);
10.return success;
11.}

```

Na třetím řádku je deklarován výstupní buffer, na čtvrtém je pak vytvořen zmíněný synchronizační Byte, na pátém řádku je odeslán identifikátor dat. Protože zadaná hodnota je typu integer, ale přenos probíhá po bytech, je třeba funkcí `GetBytes` získat Byty. Na sedmém řádku následuje jejich kopie do odesílacího bufferu a následuje příkaz `writeRawReportToDevice`, který odešle data. Program je obdobný i pro příjem dat.

3.3.3 Uložení dat do textového souboru

Po dokončení měření je třeba data přenést do PC a následně je uložit jako textový dokument. Data jsou po přijetí složena z Bytů do integerů následujícím příkazem.

```
data1[i] = data1LSB[i] + (256 * data1MSB[i]);
```

Protože data jsou z mikroprocesoru posílána po 64B packetech, musí být celkem 120 hodnot typu integer rozdělena na 4 části. Data jsou tedy rozdělena na dva 64 Bytové pakety, kde první paket obsahuje LSB a druhý MSB a na dva 56 Bytové pakety LSB a MSB. Po převodu dat výše popsaným příkazem na integerové pole získáme tedy 2 pole, které je nutné spojit do jednoho. Toto obstarávají následující příkazy.

```
Array.Copy(data1, 0, data_komplet, 0, 64);  
Array.Copy(data2, 0, data_komplet, 64, 56);
```

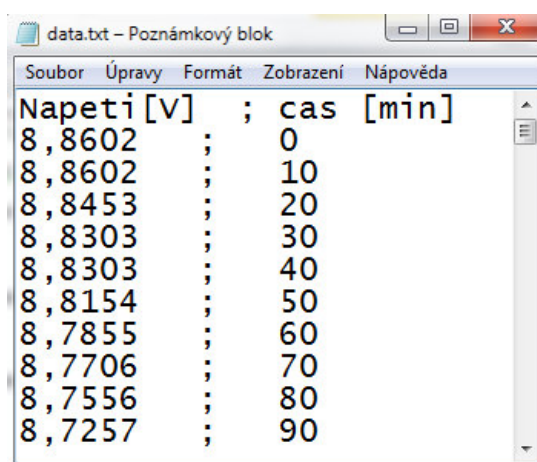
Prvním parametrem příkazu je zdrojové pole, druhým je řádek zdrojového pole, od kterého budou data kopírovány, třetím je výstupní pole, čtvrtým pak řádek výstupního pole od kterého budou začínat vložená data a posledním parametrem je celková velikost kopírovaného pole.

Po kompletaci dat, je tedy k dispozici pole o 120 hodnotách, které odpovídají hodnotám A/D převodníku. Ty je třeba podle vztahu (7) přepočítat na skutečná napětí a následně je uložit jako datový typ float. Výsledné číslo je pak příkazem `Math.Round` zaokrouhleno a uloženo jako datový typ string pro následující uložení do textového souboru. Vlastní uložení pak obstarává příkaz `File.WriteAllLines`.

Protože k zobrazení dat v grafu, je třeba mít i čas a mikroprocesor měří napětí s konstantním časovým rozestupem, je možné vygenerovat čas v počítači. Ten je generován při skládání dat do jednoho pole následujícím kódem a vložen společně s napětími do textového souboru.

```
1.for (int i = 0; i < 120; i++)  
2.{  
3.cas[i] = 10 * i;  
4.}
```

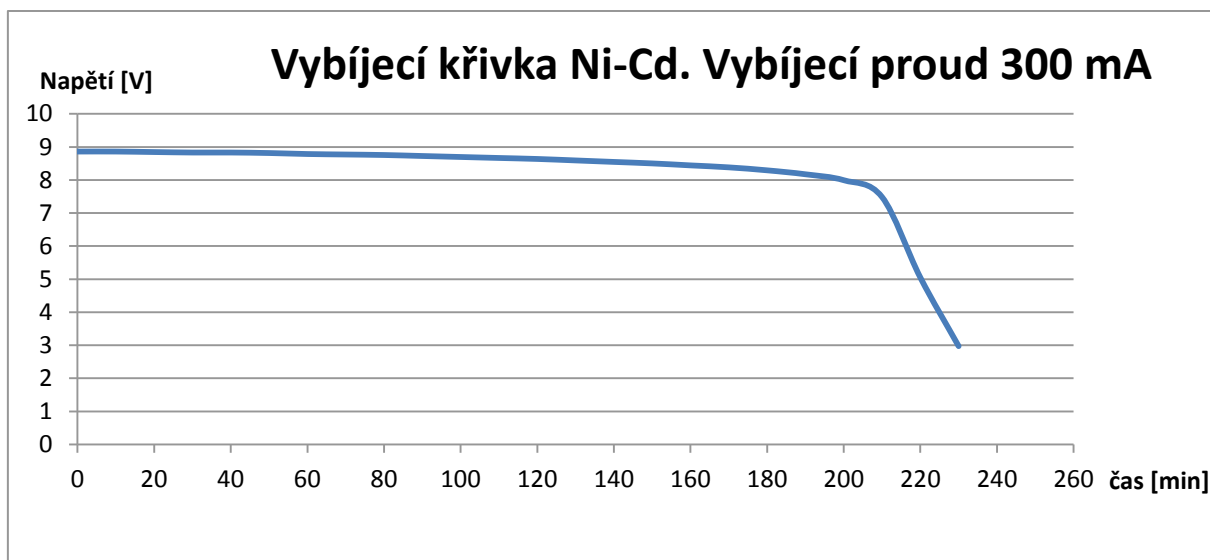
Na obrázku 13 je k vidění, jak vypadá výstup programu v textovém souboru.



Obrázek 13 - výstup PC programu v poznámkovém bloku

4 Zkušební měření akumulátoru

Pro zkušební měření byl zvolen Ni-Cd akumulátor o sedmi článcích a kapacitě C20 3 Ah. Tento typ akumulátoru byl zvolen především pro jeho ostré koleno vybíjecí křivky. Výsledná vybíjecí křivka je k vidění na obrázku 14.



Obrázek 14 - změřená vybíjecí křivka

Z obrázku je na první pohled zřejmé, že akumulátor se vybil dříve, než by bylo očekáváno. Jednak to může být tím, že byl vybíjen proudem C10, namísto C20 a také tím, že jeho skutečná kapacita je po několika letech používání už nižší. Můžeme si také všimnout ostrého vybíjecího kolena, které je pro Ni-Cd akumulátory charakteristické.

Důvod, proč byl akumulátor vybíjen proudem C10 je, že zařízení není schopno nižší proud než 300 mA nastavit.

5 Závěr

Cílem práce byl návrh a realizace zařízení pro monitorování vybíjecí křivky akumulátorů s možností výstupu pro PC. Při konstrukci zařízení bylo získáno mnoho nových znalostí. Bylo třeba nastudovat USB a SPI komunikaci, programovací jazyk C# a řešit četné problémy provázející jak hardwarovou konstrukci zařízení jak psaní softwarové části. Zajímavé by mohlo být srovnání vybíjecích křivek akumulátorů při použití spojitého a nespojitého vybíjecího proudu. Kdyby nebyl mezi těmito možnostmi rozdíl, bylo by rozhodně lepší využít PWM regulace vybíjecího proudu, což by zvýšilo hranici maximálního vybíjecího proudu.

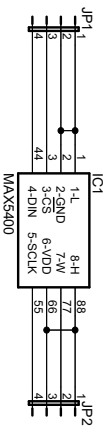
Literatura

- [1] Autor neuveden. *Akumulátory Li-Ion a jejich nabíjení* [online]. 24.3.2001, poslední revize 2.4. 2001 [cit. 15.4.2014]. Dostupné z: <<http://www.belza.cz/charge/liion1di.gif>>
- [2] Simon Inns. *Building a PIC18F USB device* [online]. 21.11.2011, [cit. 21.4.2014]. Dostupné z: <http://www.waitingforfriday.com/index.php/Building_a_PIC18F_USB_device>
- [3] STMicroelectronics. *L7800 SERIES* [online]. 9.11.2004, [cit. 21.4.2014]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/149/7805-stm-datasheet-1.pdf>>
- [4] Microchip Technology Inc. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet* [online]. 20.10.2004, [cit. 25.4.2014]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/img/cache/doc/434/258/pic18f2455-i-sp-datasheet-1.pdf>>
- [5] Maxim Integrated Products. *MAXIM 256-Tap SOT-PoT, Low-Drift Digital Potentiometers in SOT23* [online]. 2000, [cit. 25.4.2014]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/img/cache/doc/933/110/max5400eka-t-datasheet-1.pdf>>
- [6] International Rectifier. *AUTOMOTIVE MOSFET IRF1405* [online]. 25.3.2001, [cit. 25.4.2014]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/img/cache/doc/213/220/irf1405-datasheet-1.pdf>>
- [7] Autor neuveden. *PCB Trace Width Calculator* [online]. 31.1.2006, [cit. 25.4.2014]. Dostupné z: <<http://circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator/>>
- [8] Ing. Zdeněk Vacka. *Vypocet chladice* [online]. [cit. 29.4.2014]. Dostupné z: <<http://www.elproz.cz/Pic/Graf.gif>>
- [9] Microsoft. *Microsoft Developer Network* [databáze online]. [cit. 30.4.2014]. Dostupné z: <<http://msdn.microsoft.com/>>
- [10] Microchip Technology Inc. *MPLAB C18 C COMPILER LIBRARIES* [online]. 20.4.2005, [cit. 1.5.2014]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB_C18_Libraries_51297f.pdf>

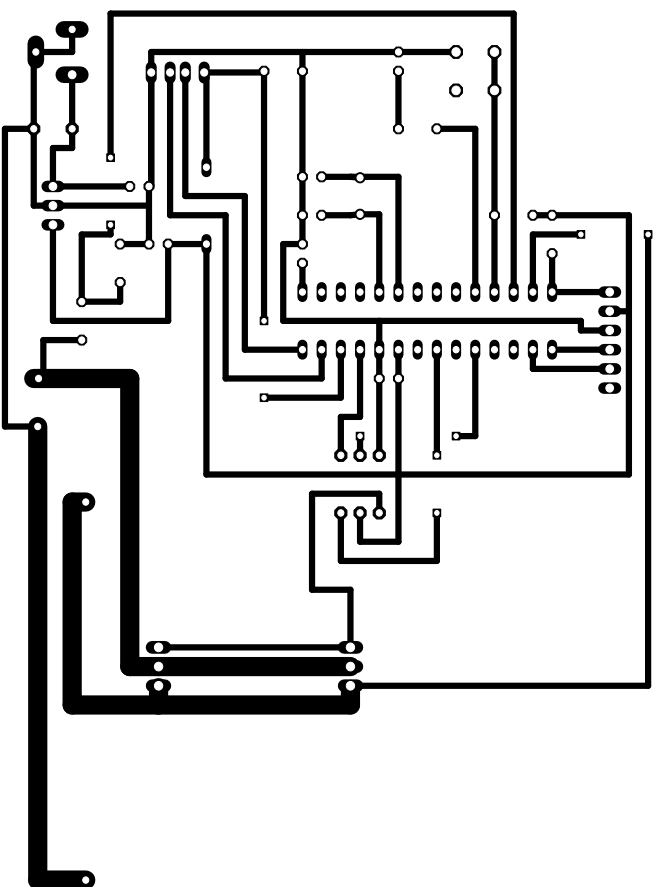
Seznam příloh

I.	Schéma zapojení zařízení pro monitorování vybíjecí křivky akumulátorů	1
II.	Schéma zapojení obvodu MAX5400	1
III.	Deska plošných spojů zařízení pro monitorování vybíjecí křivky akumulátorů	1
IV.	Deska plošných spojů obvodu MAX5400	Příloha na CD/DVD
V.	Zdrojový kód firmware mikroprocesoru	Příloha na CD/DVD
VI.	Zdrojový kód software pro PC	Příloha na CD/DVD
VII.	Program pro práci se zařízením na PC	Příloha na CD/DVD

Nazev: Schema vybjiecka	
Cislo I	Datum: 12.2.2014 Jmeno: Marian Rusky



Nazev: Schema MAX5400		
Cislo II	Datum: 14.2.2014	
	Jmeno: Marian Rusky	



Nazev: DPS vybíjec		
Císlo:		Datum: 1.3.2014
III	Jméno: Marian Ruský	